

092119118 2014

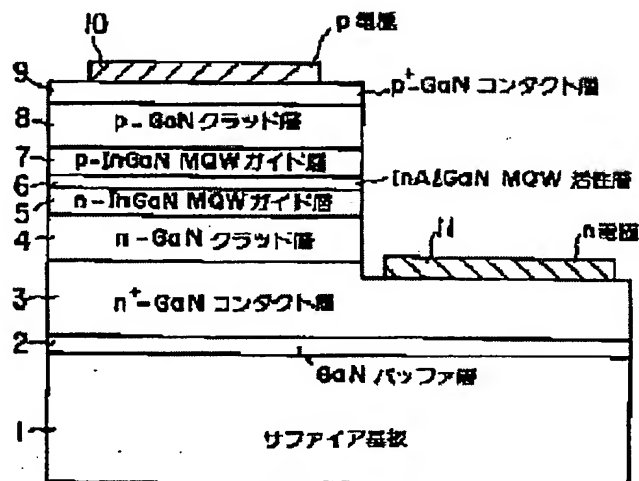
## SEMICONDUCTOR LASER

Patent number: JP11243251  
 Publication date: 1999-09-07  
 Inventor: SASANUMA KATSUNOBU; SAITO SHINJI;  
 HATAGOSHI GENICHI; NISHIO JOSHI; ONOMURA  
 MASAOKI  
 Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO  
 Classification:  
 - international: H01S3/18; H01L33/00  
 - european:  
 Application number: JP19980045292 19980226  
 Priority number(s): JP19980045292 19980226

Report a data error here

## Abstract of JP11243251

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make higher the value of the effective refractive index of an optical waveguide in a laser luminescence than that of the effective refractive index of GaN contact layers in a GaN laser, by a method wherein the GaN layer is constituted of an active layer having a specified compositional formula, guide layers and clad layers. **SOLUTION:** A GaN laser consists of, for example, an InAlGaN active layer 6, InGaN guide layers 5 and 7 which are respectively adjacent to the lower and upper parts of the layer 6, and, moreover, GaN clad layers 4 and 8 which are respectively adjacent to the lower part of the layer 5 and the upper part of the layer 7. Here, the layer 6 is formed into a multiple quantum well structure wherein two kinds of  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$  and  $1 \geq x+y \geq 0$ ) layers, in which some one of the values of the compositions of at least the In, the (x), the Al and the (y) is different from the other values, are alternately laminated. The guide layers consist of an  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 \geq z \geq 0$ ) layer and the clad layers consist of an  $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $1 \geq u \geq v \geq 0$  and  $1 \geq u+v \geq 0$ ) layer. As a result, the value of the effective refractive index of the peripheral region of the layer 6 can be made higher than that of the refractive index of GaN contact layers, which are adjacent to the outer sides of the layer 6.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-243251

(43)公開日 平成11年(1999)9月7日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

// H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平10-45292

(22)出願日 平成10年(1998)2月26日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

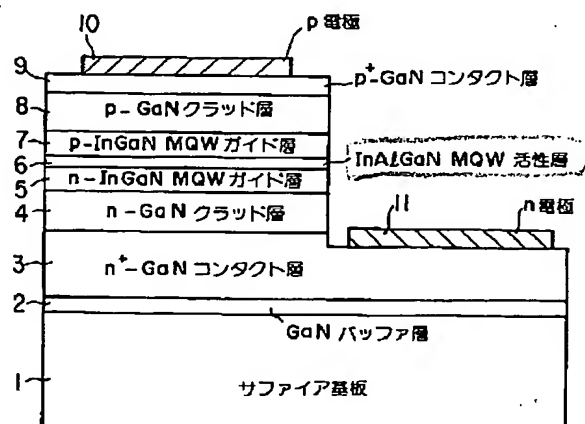
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57)【要約】

【課題】レーザ発光の垂直方向の遠視野像を単峰化することができ、低いしきい値電流密度で低電圧動作する高信頼性Ga N系レーザ装置を提供する。

【解決手段】本発明のGa N系レーザ装置は、活性層をガイド層で挟み、ガイド層をクラッド層で挟んだ構造において、従来のAl Ga Nクラッド層の代わりにIn Ga N又はGa Nをクラッド層として用いることにより形成される。光導波路の実効屈折率の値がGa Nコンタクト層の屈折率の値に比べて大きくなるようにすれば、遠視野像が単峰化され光ディスク用光源として優れたGa N系レーザ装置を得ることができる。さらに活性層に注入されたキャリアがIn Ga N又はGa Nからなるガイド層にオーバーフローするのを防止するために、活性層とガイド層との間等にAl Ga Nからなる薄膜障壁層を設ける構造が示される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$ ,  $1 \geq x+y \geq 0$ ) の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、

$\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z > 0$ ) からなるガイド層と、  
 $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $1 > u \geq v \geq 0$ ,  $1 > u+v > 0$ ) からなるクラッド層と、

を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$ ,  $1 \geq x+y \geq 0$ ) の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、

$\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z > 0$ ) からなるガイド層と、  
 GaNからなるクラッド層と、

を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記ガイド層は、In組成zの値が異なる2種の $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) の層が交互に積層された多重量子井戸構造を有することを特徴とする請求項1、2のいずれか1つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 活性層と前記活性層の上下に隣接するガイド層と、前記ガイド層にそれぞれ隣接するクラッド層とを含むGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $1 > x > 0$ ) からなる活性層と、  
 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $1 > y > 0$ ,  $x > y$ ) からなるガイド層と、

前記活性層と前記ガイド層との間、または前記ガイド層と前記クラッド層との間にそれぞれ介在する $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) からなる薄膜障壁層と、  
 を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項5】 少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなる半導体レーザ装置において、

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $1 > x > 0$ ) からなる活性層、または $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $1 > x > y \geq 0$ ) からなるガイド層の片側に隣接し、Al組成zの値が異なる2種の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) からなる多量子井戸構造の薄膜障壁層と、

この多量子井戸構造の薄膜障壁層にさらに隣接する、 $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $1 \geq u$ ,  $v \geq 0$ ,  $1 \geq u+v \geq 0$ ) からなるクラッド層と、

を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体レーザ装置に係り、特にビーム径が小さく、かつ、レーザ発光のしきい値電流密度と動作電圧が小さいGaN系化合物半導体を用いた半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、 $\text{GaN}$ 、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x$ ,  $y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) 等のGaN系化合物半導体が、青色半導体レーザの材料として注目されている。以下GaN系化合物半導体からなるレーザ装置を、GaN系LD (Laser Diode) と略称する。また、多元系化合物半導体の組成を表すサフィックスは、特に必要な場合を除き省略することにする。

【0003】 GaN系LDは、原理的には短波長化によりビーム径を絞ることが可能であり、光ディスク等の高密度情報処理装置用光源として期待されてきた。従来、GaN系LDとして各種の構造が提案されてきたが、しきい値電流密度を $1 \text{ kA/cm}^2$  以下にすることができず、また、レーザ光の遠視野像 (以下FFP; Far Field Pattern と省略する) が多峰性を示すため、短波長化に見合うビーム径の縮小が不可能であった。このため、しきい値電流密度が小さくかつ動作電圧が低い、光ディスク用光源として好適なGaN系LDはこれまで得られていないのが実情であった。

【0004】 ここでFFPとは、レーザ光の開口部から離れた場所で求めた光ビーム強度の角度分布のことである。一般にLDの光ビームは、活性層に対して垂直方向で上下に広がり易い性質があるので、ビーム径縮小の目安として活性層に対して垂直方向のFFPにとくに注目して説明する。

【0005】 従来のGaN系LDのFFPに生じる多峰性のピークを図9に示す。図の横軸 $\theta$ は、活性層に垂直でその長手方向に平行な面内におけるビームの角度、縦軸はビーム強度の相対値である。光ビームの強度分布は上下に20度以上の広がりを持ち、かつ、図9に示すような多峰性を示す欠点があった。

【0006】 GaN系LDのFFPが多峰性を示す理由は、レーザ発光が反導波モード (anti-index guided mode) により行われるためと考えられる。ここで反導波モードとは、活性層の上下 (光導波路の外側) に位置する層の屈折率が光導波路の実効屈折率よりも大きい場合に、活性層で生じた光が上下の層にしみだし、上下の層の光閉じ込め係数が大きくなるため光強度分布が上下方向に広がり、FFPが多峰性になる現象をいう。

【0007】 すなわち、従来GaN系LD構造において、InGaN活性層の屈折率を $n_1$ 、その上下に隣接するGaNガイド層の屈折率を $n_2$ 、前記GaNガイド層の外側から上下に隣接するAlGaNクラッド層の屈

折率を $n_1$ 、とするとき、 $n_1 > n_2 > n_3$  が成り立つので、レーザ発光はもっとも屈折率の高いInGa<sub>N</sub>活性層に沿った屈折率導波モード (index guided mode) により生じ、従ってFFPの光強度分布は原理的には単峰性を示すと考えられてきた。

【0008】しかし、Ga<sub>N</sub>系LDでは、活性層に電流を注入する電極のコンタクト抵抗を低減するため、AlGa<sub>N</sub>クラッド層の外側から、さらに上下に隣接して不純物添加量の大きいGa<sub>N</sub>コンタクト層が形成されることに注意しなければならない。以下、不純物を添加することをドーブ、添加された不純物をドーバントと呼ぶことにする。

【0009】従来のGa<sub>N</sub>系LDでは、活性層とガイド層とクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率 $n_{eff}$  ( $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  と前記各層の厚さで決まる平均的な屈折率) が、これを挟むGa<sub>N</sub>コンタクト層の屈折率 $n_1$  よりも小さいためGa<sub>N</sub>コンタクト層へ光がしみ出し、Ga<sub>N</sub>コンタクト層の光閉じ込め係数が大きくなって、FFPにコンタクト層の光閉じ込めに対応するピークを生じ、反導波モードによるFFPの多峰性をもたらす要因となっていた。

【0010】図10は、従来のGa<sub>N</sub>系LDを構成する多層構造について、発明者が行ったGa<sub>N</sub>コンタクト層への光のしみ出しを証明するコンピュータシミュレーションの結果である。

【0011】図の縦軸は、LDの開口部をなす劈開面の直近において、多層構造の垂直方向に沿って求めたレーザ光の相対強度 (通常NFP; Near Field Patternと呼ぶ) である。また、縦軸に平行な細い直線はそれぞれコンタクト層、クラッド層、ガイド層、活性層及び電極からなる多層構造の位置を示す境界線である。

【0012】シミュレーションは、 $n$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層25、 $n$ -AlGa<sub>N</sub>クラッド層26、 $n$ -Ga<sub>N</sub>ガイド層27、InGa<sub>N</sub>の多量子井戸 (以下MQW; Multi-Quantum Wellと略称する) 構造の活性層28、 $p$ -Ga<sub>N</sub>ガイド層29、 $p$ -AlGa<sub>N</sub>クラッド層30、 $p^+$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層31、 $p$ 電極32からなる多層構造について行った。なお、図の横軸は多層構造の厚さ方向の位置を示す座標である。

【0013】図10に示すように、光の一部は $p^+$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層31に閉じ込められ副極大を示している。また厚い $n$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層25にも無視できない量の光のしみだしを生じていることがわかる。

【0014】図11は同一条件で求めた従来のGa<sub>N</sub>系LDのFFPである。図の横軸はレーザ光のビームの角度である。-15度より左側にみられる光強度の立上りは、図10でのべた $p^+$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層31への光閉じ込めによるものであり、18度付近にみられる鋭いピークは、厚い $n$ -Ga<sub>N</sub>コンタクト層25への光しみだしによるものと考えられる。

【0015】上記のシミュレーションにより、従来のGa<sub>N</sub>系LDのFFPの実験データにみられる光ビームの広がり多峰性とは、いずれもGa<sub>N</sub>コンタクト層25と31への光閉じ込めによることが発明者により明らかにされた。

【0016】このように、反導波モードによるレーザ光ではFFPが多峰性を示すばかりでなく、ドーバント濃度の高いGa<sub>N</sub>コンタクト層による光損失が大となる。またレーザ光の広がりにより、活性層の光とじ込め係数 $\Gamma$ が減少し、これらの理由でレーザ発光のしきい値電流密度が高くなる。従って、従来のGa<sub>N</sub>系LDではGa<sub>N</sub>コンタクト層への光のもれを減少するため、AlGa<sub>N</sub>クラッド層のAl組成を大きくして $n_1$  を小さくするか、又はAlGa<sub>N</sub>クラッド層を厚くする等の対策がとられてきた。これらの問題点について、発明者が行ったコンピュータシミュレーションの結果を図12及び図13に示す。

【0017】図12は従来のGa<sub>N</sub>系LDについて求めたAlGa<sub>N</sub>クラッド層26、30のAl組成と厚さに対するレーザ発光のしきい値電流の変化を示すシミュレーション結果である。縦軸はAlGa<sub>N</sub>クラッド層の厚さ、横軸はAlGa<sub>N</sub>クラッド層のAl組成である。各曲線のパラメータはレーザ発光のしきい値電流密度 $J$ の値を示している。図より、AlGa<sub>N</sub>クラッド層の厚さを大きくする程しきい値電流密度の値は小さく、また、AlGa<sub>N</sub>クラッド層のAl組成を大きくする程しきい値電流密度の値は小さくなる事がわかる。

【0018】従来のGa<sub>N</sub>系LDについて求めたAlGa<sub>N</sub>クラッド層26、30及びGa<sub>N</sub>ガイド層27、29の厚さに対するレーザ発光のしきい値電流密度の変化を図13に示す。図よりクラッド層及びガイド層の厚さを大きくすれば、しきい値電流密度の値を低減することができるが、ガイド層の厚さに対するしきい値電流密度の依存性は緩やかであるため、しきい値電流密度を低減するにはクラッド層の厚さを大きくすることが重要であることがわかる。

【0019】図12、図13において、解なしとされる領域はレーザ発光が不可能となる領域であり、その近傍でしきい値電流密度が急激に増加する状況が示されている。いずれにしても、レーザ発光のしきい値電流を低減するためにはクラッド層の厚さとAl組成を増加することが有効であるが、可能な範囲でこれらの値を増加してもしきい値電流密度 $J$ の値を1kA/cm<sup>2</sup> 以下とすることは困難であることがわかる。

【0020】通常、AlGa<sub>N</sub>層においてはGa<sub>N</sub>層よりも不純物準位が深いため、AlGa<sub>N</sub>クラッド層のキャリア密度を高くすることは困難であり、AlGa<sub>N</sub>クラッド層を厚くすればクラッド層の示す抵抗のためレーザ発光の動作電圧は高くなる。また、AlGa<sub>N</sub>と他のGa<sub>N</sub>系結晶との格子定数の相違から、AlGa<sub>N</sub>層の

Al組成や厚さを大きくすればクラックを生じ易く、信頼性の低下をもたらす原因となる。

【0021】このように、低いしきい値電流密度で低電圧動作し、FFPが単峰化され光ディスク等への応用に適したGaN系LDを実現するためには、AlGaNクラッド層の組成や厚さに関し、Al組成を増加するか又はクラッド層を厚くすることにより活性層やガイド層への光閉じ込め効果を向上させることが必要であった。

【0022】しかし一方において、Al組成を増加しクラッド層を厚くすれば、シリーズ抵抗が増加して動作電圧が高くなり、また、AlGaNと他のGaN系結晶との格子定数の相違からクラックが発生し易くなる。このように、互いに相反する課題を解決する方法はいまだに知られていないのが実情であった。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】上記したように従来のGaN系LDには、InGaN活性層の上下に隣接するGaNガイド層とこのGaNガイド層を挟むように形成されたAlGaNクラッド層とからなる活性層周辺領域の実効屈折率の値が、さらに前記AlGaNクラッド層を挟むように形成されたGaNコンタクト層の屈折率の値よりも低いために、反導波モードによるレーザ発光を生じ、FFPが多峰性を示すと同時に導波損失が増加し、従って、しきい値電流密度が高くなるという問題があった。

【0024】また、従来のGaN系LDには、クラッド層のAl組成や厚さを大きくしてAlGaNクラッド層の光閉じ込め効果を向上させようとするれば、動作電圧が上昇し、またクラックが発生し、信頼性の問題を生じるという相反する課題が含まれていた。

【0025】本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、低いしきい値電流密度で低電圧で動作し、かつ、FFPが単峰性を示す、光ディスク等への応用に適した高信頼性のGaN系LDを提供することを目的とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ装置は、少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$ ,  $1 \geq x+y \geq 0$ ) の層が交互に積層された多量子井戸構造を有する活性層と、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z > 0$ ) からなるガイド層と、 $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $1 > u \geq v \geq 0$ ,  $1 > u+v > 0$ ) からなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

【0027】また、本発明の半導体レーザ装置は、少なくともIn組成x及びAl組成yのいずれかの値が異なる2種の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $1 \geq x \geq y \geq 0$ ,  $1 \geq x+y \geq 0$ ) の層が交互に積層された多量子井戸構

造を有する活性層と、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z > 0$ ) からなるガイド層と、GaNからなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

【0028】好ましくは前記ガイド層は、In組成zの値が異なる2種の $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) の層が交互に積層された、多重量子井戸構造を有することを特徴とする。

【0029】また、本発明の半導体レーザ装置は、活性層と、前記活性層の上下に隣接するガイド層と、前記ガイド層にそれぞれ隣接するクラッド層とを含むGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $1 > x > 0$ ) からなる活性層と、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $1 > y > 0$ ,  $x > y$ ) からなるガイド層と、前記活性層とガイド層との間、または前記ガイド層と前記クラッド層との間にそれぞれ介在する $\text{Al}_l\text{Ga}_{1-l}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) からなる薄膜障壁層とを含むことを特徴とする。

【0030】また、本発明の半導体レーザ装置は、少なくとも活性層とガイド層とクラッド層とを具備するGaN系化合物半導体からなるレーザ装置において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $1 > x > 0$ ) からなる活性層、または $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $1 > x > y \geq 0$ ) からなるガイド層の片側に隣接し、Al組成zの値が異なる2種の $\text{Al}_l\text{Ga}_{1-l}\text{N}$  ( $1 > z \geq 0$ ) からなる多量子井戸構造の薄膜障壁層と、この多量子井戸構造の薄膜障壁層にさらに隣接する $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $1 \geq u$ ,  $v \geq 0$ ,  $1 \geq u+v \geq 0$ ) からなるクラッド層とを含むことを特徴とする。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係るGaN系LDの断面構造を示す図である。図1に示すGaN系LDは、サファイア基板1の上のGaNバッファ層2と、 $n^+$ -GaNコンタクト層3と、 $n$ -GaNクラッド層4と、 $n$ -InGaNのMQWガイド層5と、InAlGaNのMQW活性層6と、p-InGaNのMQWガイド層7と、p-GaNクラッド層8と、 $p^+$ -GaNコンタクト層9と、その上に形成されたp電極10とから構成される。

【0032】さらに $p^+$ -GaNコンタクト層9から $n^+$ -GaNコンタクト層3の途中まで部分的にエッチングし、露出した $n^+$ -GaNコンタクト層3の表面にn電極11が形成される。なお、GaNバッファ層2は、サファイア基板1の上に成長するGaN系多層構造の結晶性を改善することを目的としている。

【0033】ここでn型のドーパントはSi、p型のドーパントはMgであり、 $n^+$ 、 $p^+$ はそれぞれの型のドーパント濃度が高いことを示す。活性層6を構成するInAlGaNのMQWの構造は、それぞれバンドギャップエネルギーの値が互いに異なる厚さ20nm以下の2

10

20

30

40

50

種類のInAlGa<sub>1-x-y</sub>N層からなる。なお、In、Al、Ga、N ( $1 \geq x \geq y \geq 0, 1 \geq x+y \geq 0$ ) のバンドギャップエネルギーは、In組成x又はAl組成y、又は組成x、yの値を共に変化させることにより、互いに異なる値とすることができる。このとき、In組成x又はAl組成y、又は前記組成x及びyの値を最適化すれば、活性層6を単層構造とすることもできるし、また厚さ100nm以下の薄い単一層からなるSQW構造とすることもできる。

【0034】なお図1のガイド層5、7は、それぞれの厚さが20nm以下の2種類のIn、Ga、N ( $0 \leq z < 1$ ) 層を交互に積層してMQW構造のガイド層を形成した場合が示されている。このようにガイド層5、7はMQW構造としても良いし、In組成zの値がガイド層の最適値に選定された単層構造からなるようにしても良い。

【0035】InGa<sub>1-x-y</sub>Nガイド層をMQW構造とすれば、単層構造に比べて歪みの点で有利になり、良好な結晶を成長することが容易となる。このとき、InGa<sub>1-x-y</sub>NのMQW層にMgまたはSi等のドーパントを変調ドーピングすれば、動作電圧を低減する上でとくに有効である。ここで変調ドーピングとは、MQWの多層構造に合わせて周期的にドーピングすることをいう。

【0036】図1に示すように、ガイド層をInGa<sub>1-x-y</sub>NのMQW構造又は単層構造とすれば、従来必要であつたAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層が不要となる特徴がある。すなわち、図1に示すようにInAlGa<sub>1-x-y</sub>N活性層6とその上下に隣接するInGa<sub>1-x-y</sub>Nガイド層5、7と、さらにその上下に隣接するGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層4、8からなるGa<sub>1-x-y</sub>N系LDにおいて、In組成とAl組成とを最適化することにより、活性層、ガイド層、及びクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率 $n_{eff}$ の値が、さらにその外側に隣接して形成されるGa<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層の屈折率 $n$ 、よりも大きいGa<sub>1-x-y</sub>N系LDを実現することができる。

【0037】第1の実施の形態のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDでは、従来のAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層の代わりにGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層4、8が用いられるため、その外側にさらにGa<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層3、9が積層されても、レーザ発光はInGa<sub>1-x-y</sub>N活性層に沿った屈折率導波モードにより生じ、不純物ドーパ量の大きいGa<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層への光のしみだしが少ない。すなわち、Ga<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層における光閉じ込め係数が従来のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDよりも減少する。

【0038】図2は本第1の実施の形態に係るGa<sub>1-x-y</sub>N系LDについて求めたFFPの形状である。このとき、InAlGa<sub>1-x-y</sub>NからなるMQW活性層のAl組成の値は零、すなわちInGa<sub>1-x-y</sub>NのMQW活性層を用いる場合について求めたものである。しかし、FFPの形状はMQW活性層のAl組成にはほとんど依存せず、Alを含むMQW活性層についてもほぼ同様な結果が得られた。

【0039】AlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層を用いた図1に示す従来のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDのFFPに比べて、Ga<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層による光閉じ込めが完全に消失し、FFPは優れた単峰特性とすることができた。また、図2に示す本発明のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDの構造では、従来約±20度であった光ビームの角度分布が±5度に低減し、ビーム径を縮小する上で大幅な改善がみられた。

【0040】図1に示す第1の実施の形態のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDは、波長約420nmにおいて室温で連続動作（直流電流による動作）し、そのしきい値電流密度は1kA/cm<sup>2</sup>以下であり、また、レーザ発光のFFPは図2のような優れた単峰特性を示すことが確認された。

【0041】次に図3に基づき、本発明の第2の実施の形態に係るGa<sub>1-x-y</sub>N系LDについて説明する。図3において、図1のGa<sub>1-x-y</sub>N系LDと対応する部分には同一の参照番号を付している。（以下図4、図6、図7において同じ）。

【0042】図1においては、InAlGa<sub>1-x-y</sub>N活性層6の上下にInGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層5、7が隣接していたが、このInGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層は、図3に示すようにInAlGa<sub>1-x-y</sub>N活性層6の片側のみに隣接していても良い。図3ではInAlGa<sub>1-x-y</sub>NのMQW活性層6とn-Ga<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層4との間にn-InGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層5を設けた場合が示されている。

【0043】先に述べたように、結晶性の良好なInGa<sub>1-x-y</sub>Nガイド層をMQW活性層に近接して形成することはやや困難であるが、ガイド層をMQW構造とすれば、活性層に近接してInGa<sub>1-x-y</sub>Nからなる良好なMQWガイド層を設けることも可能になる。

【0044】このようにInAlGa<sub>1-x-y</sub>N活性層6の片側のみに隣接してInGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層を設けた場合には、図2に比べてFFPの強度分布がやや非対称となり、活性層による光利得もやや低下するが、 $n_{eff}$ の値を最適化すれば図2と同様に低いしきい値電流密度と優れた単峰特性のFFPを得ることができる。

【0045】第1、第2の実施の形態でのべたように、従来のAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層の代わりにGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層を用いればFFPを単峰化することができる。また、AlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッドを用いなければ、比較的抵抗の高いAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層による電圧降下も生じなくなるためレーザ発光時の動作電圧が低減し、かつ、厚いAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層によるクラックの発生も回避され、信頼性が大幅に向上する。

【0046】図4は、本発明の第3の実施の形態に係るGa<sub>1-x-y</sub>N系LDの断面構造を示す図である。図4に示すGa<sub>1-x-y</sub>N系LDは、サファイア基板1の上に、Ga<sub>1-x-y</sub>Nバッファ層2と、n<sup>+</sup>-Ga<sub>1-x-y</sub>Nコンタクト層3と、n-InAlGa<sub>1-x-y</sub>Nクラッド層12と、n-InGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層5と、InAlGa<sub>1-x-y</sub>NのMQW活性層6と、p-InGa<sub>1-x-y</sub>NのMQWガイド層7と、p-InAlGa<sub>1-x-y</sub>N

クラッド層13と、 $p^+$ -Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層9と、その上部に形成された $p$ 電極10とからなる。

【0047】さらに、 $p^+$ -Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層9から $n^+$ -Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層3の途中まで部分的にエッチングし、露出した $n^+$ -Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層3の表面に $n$ 電極11が形成される。

【0048】ここで図1と同様 $n$ 型のドーパントはSi、 $p$ 型のドーパントはMgである。またInAlGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQW活性層6は、厚さ20nm以下の組成の異なる2種類のInAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N層を交互に積層したMQW構造、又は組成を最適化した単一層又は薄い単層のSQW構造からなるものであり、InGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWガイド層5、7は、厚さ100nm以下の組成の異なる2種のInGa<sub>1-x-y-z</sub>N層を交互に積層したMQW構造からなるものである。

【0049】ガイド層5、7をInGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWとする理由は、本第3の実施の形態においても第2の実施の形態でのべたように、良好なInGa<sub>1-x-y-z</sub>N結晶を得ることが難しいが、これをMQW構造とすれば結晶性が大幅に改善されることによる。

【0050】図4に示す第3の実施の形態においては、クラッド層12、13をIn<sub>u</sub>Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N ( $1 > u \geq v \geq 0$ ,  $1 > u+v > 0$ ) のような4元化合物とし、In組成 $u$ がAl組成 $v$ よりも大きい層とすることに特徴がある。

【0051】このように第2の実施の形態では、活性層とクラッド層とをIn組成がAl組成より大きいInAlGa<sub>1-x-y-z</sub>Nとし、かつ、ガイド層をInGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWとすることにより、活性層とガイド層とクラッド層からなる活性層周辺領域の実効屈折率 $n_{eff}$ の値が、さらにその外側に隣接して形成されるGa<sub>1-x-y-z</sub>Nコンタクト層の屈折率 $n$ よりも大きいGa<sub>1-x-y-z</sub>N系LDを実現している。

【0052】従って第3の実施の形態のGa<sub>1-x-y-z</sub>N系LDでは、第1の実施の形態と同様、Ga<sub>1-x-y-z</sub>Nコンタクト層3、9が積層されても、実効屈折率 $n_{eff}$ がGa<sub>1-x-y-z</sub>Nコンタクト層よりも大きいので、レーザ発光はInAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N活性層に沿った屈折率導波モードにより生じ、ドーパント濃度の高いGa<sub>1-x-y-z</sub>Nコンタクト層へのしみだしは減少する。従って、FFPの強度分布は、図2に示すような優れた単峰特性を示すようにすることができる。

【0053】なお、第2の実施の形態と同様、InGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWガイド層5、7は、必ずしもInAlGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQW活性層6の両側に形成する必要はなく、FFPの強度分布がやや非対称になる欠点はあるが、InGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWガイド層5、7が片側のみであっても同様に優れた単峰特性を得ることができる。このように第3の実施の形態の構造を用いれば、第1の実施の形態とはほぼ同様に、優れた特性のGa<sub>1-x-y-z</sub>N系LDを得ることができる。

【0054】次に図5に基づき本発明の第4の実施の形

態について説明する。本発明の第1乃至第3の実施の形態において、InAlGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQW活性層6の両側又は片側にInGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQWガイド層5、7を設ける場合について説明した。しかし、図5に示すように、活性層のAl組成が零であって活性層がガイド層と同様にInGa<sub>1-x-y-z</sub>Nからなる場合には、ガイド層と活性層との間のバンドギャップの差が小さいので活性層に注入されたキャリアのガイド層へのオーバーフロー効果が大きくなる。

【0055】すなわち、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 < x < 1$ ) からなる活性層と、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N ( $0 < y < 1$ ,  $x > y$ ) からなるガイド層とが隣接して形成された場合に、In組成 $x$ と $y$ との差が小さければ、両者のバンドギャップの差は小さくキャリアオーバーフローを生じやすい。

【0056】図5では、活性層とガイド層とが共に均一組成の単層からなる場合が示されているが、同様な問題は両者が共にMQWの場合、又は両者のいずれかがMQWの場合にも生じる。また、活性層にAl組成が含まれても、その含有量が小さい場合には同様な問題が生じる。すなわち、ガイド層にキャリアがオーバーフローし、高い効率でレーザ発光させるのに必要な活性層へのキャリア閉じ込めが不十分となる。

【0057】図5は、この問題を回避するため、InGa<sub>1-x-y-z</sub>N活性層と $p$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層及び $n$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層との間にそれぞれAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N ( $0 \leq z < 1$ ) からなる薄膜障壁層を設けたときのバンド構造図を示している。ここでAl組成 $z$ の値は、前記活性層とガイド層のIn組成 $x$ 、 $y$  ( $x > y$ ) との兼ね合いで最適化される。図5において $p$ 型及び $n$ 型のクラッド層がGa<sub>1-x-y-z</sub>Nからなるとき、このAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N薄膜障壁層はInGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層とGa<sub>1-x-y-z</sub>Nクラッド層の間に設けても良い。

【0058】 $p$ 型側のAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N薄膜障壁層で電子が活性層から $p$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層にオーバーフローするのが防止され、 $n$ 型側のAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N薄膜障壁層で正孔が活性層から $n$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層にオーバーフローするのが防止される。このように活性層とガイド層と共にInGa<sub>1-x-y-z</sub>Nから形成され、両者の界面に形成される障壁が小さい場合には、活性層と $n$ 側及び $p$ 側のInGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層との間にそれぞれAlGa<sub>1-x-y-z</sub>N薄膜障壁層を設け、活性層へのキャリア閉じ込めを強化することがレーザ発光のしきい値電流密度を低減し、発光効率を高めるための重要な対策となる。

【0059】次に図6に基づき、本発明の第5の実施の形態について説明する。図6は、前記AlGa<sub>1-x-y-z</sub>N薄膜障壁層15及び17を、それぞれInGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQW活性層16と $n$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層14との間、及びInGa<sub>1-x-y-z</sub>NのMQW活性層16と $p$ -InGa<sub>1-x-y-z</sub>Nガイド層18との間に設けたGa<sub>1-x-y-z</sub>N系LDの断面構造が示されてい



る。ここでInGa<sub>y</sub>Nガイド層の組成は、In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (0<y<1) の範囲で最適化される。

【0060】図6に示す第5の実施の形態のGa<sub>0.5</sub>N系LDは、p-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18とp-GaNクラッド層8との間に埋め込まれたストライプ状の開口部を有するn-GaN電流ブロック層19を備えている。n-GaN電流ブロック層19は、p電極10より流入する正孔電流をInGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層の直近部において、活性層の長手方向に沿って中央部に集中することにより、レーザ発光のしきい値電流密度を低減し、かつ、活性層の面内のビーム幅を小さくするのに役立つ。

【0061】p-GaNクラッド層8とp-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18との界面は、図6の破線に示すA、B、C、のいずれの位置にあっても良い。その位置は当該Ga<sub>0.5</sub>N系LDの製造工程に依存して選択される。また図6に示す構造において、電流ブロック層19の材料はp-GaNに限定されるものではなく、n-InGa<sub>0.5</sub>N又はn-AlGa<sub>0.5</sub>Nを用いても良い。

【0062】電流ブロック層としてn-InGa<sub>0.5</sub>Nを用いる場合には、Ga<sub>0.5</sub>Nに比べてバンドギャップが小さいため、InGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層16のレーザ光が一部吸収されることによりレーザ光の横モードが制御され、単一モードのレーザ発光が可能となり最小のビーム幅を得ることができる。またn-AlGa<sub>0.5</sub>Nを用いる場合には、InGa<sub>0.5</sub>Nからなるガイド層及び活性層に比べて屈折率が小さいので、光閉じ込め効果によりレーザ光の横モードが制御され、同様に単一モードのレーザ発光が可能となる。

【0063】このようにレーザ発光の横モードを制御して単一モードにすると同時に、従来のAlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層に代えて図6に示すようにGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層を用いれば、Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層への光閉じ込めが回避され、FFPが単峰化されるので、活性層に対して垂直方向の光ビームの角度分布もまた大幅に低減される。従って、光ディスク等の光源として極めて優れた、ビーム径の小さいGa<sub>0.5</sub>N系LDを得ることができる。

【0064】また図6に示すGa<sub>0.5</sub>N系LDの構造において、n型側のGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層が省略されているが、n-GaNクラッド層の役割はn-GaNコンタクト層3が兼ね備えていることに注目しなければならない。

【0065】図1、図3及び図4においては、このn-GaNコンタクト層3をn<sup>+</sup>とすることによりn電極のコンタクト抵抗の低減を図っているが、図6のGa<sub>0.5</sub>N系LDではn-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層14を通るレーザ光が、これに隣接しクラッド層としての役割を兼ねるn-GaNコンタクト層3により吸収されるので、これをn<sup>+</sup>とすることができない。このため、図6のn-GaNコンタクト層3は図1、図3及び図4に比べて厚く成長し、n電極下部のシート抵抗を低減するように設計される。

【0066】このことから逆に図1、図3及び図4において、n<sup>+</sup>-Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層3の代わりに厚いn-GaNコンタクト層とし、n-GaNクラッド層又はn-InAlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層を省略できることが導かれる。なお、図6においてp-GaNクラッド層8はp-InGa<sub>0.5</sub>Nとしても良く、またp-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18をp-GaN層としても良い。

【0067】次に図7に基づき、本発明の第6の実施の形態について説明する。図7に示す第6の実施の形態のGa<sub>0.5</sub>N系LDは、電流ブロック層19がp-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18を超えてInGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層16とn-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層14との界面にまで達する構造にされたことに特徴がある。また、図7のGa<sub>0.5</sub>N系LDはAlGa<sub>0.5</sub>N薄膜障壁層15、17を備え、InGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層16に注入された電子・正孔のInGa<sub>0.5</sub>Nガイド層14、18へのオーバーフローを防止している。

【0068】このように活性層16が直接電流ブロック層19により仕切られた構造にすれば、活性層16への電流の集中は第5の実施の形態に比べてさらに効果的に行われ、しきい値電流の低減とレーザ発光の単一モード化を達成することができる。

【0069】このときn-GaN電流ブロック層の深さは、図7の破線に示すように、それぞれA、B、C、Dの位置までとすることができる。Dの位置を選択すれば、InGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層に注入される電子・正孔電流は均一化され良好な結果が得られる。なお、図7のGa<sub>0.5</sub>N系LDにおいて、InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層14、18は、n側又はp側の一方のみとすることもできる。

【0070】ここで、第5、第6の実施の形態に係るGa<sub>0.5</sub>N系LDの製造方法の特徴について説明する。図6に示すGa<sub>0.5</sub>N系LDの製造方法は次のとおりである。まず、サファイア基板1の上に結晶性の優れたGa<sub>0.5</sub>N系の多層構造を成長するため、Ga<sub>0.5</sub>Nバッファ層2を成長し、引き続きn-GaNコンタクト層3、n-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層14、AlGa<sub>0.5</sub>N薄膜障壁層15、InGa<sub>0.5</sub>NのMQW活性層16、AlGa<sub>0.5</sub>N薄膜障壁層17、p-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18まで成長する。

【0071】次にn-GaN電流ブロック層19と表面保護層(図示せず)を成長し、この表面保護層を用いて前記n-GaN電流ブロック層19の一部をp-InGa<sub>0.5</sub>Nガイド層18に達するまで選択エッチングし、ストライプ状の開口部を形成する。

【0072】高温放置により、前記表面保護層を気相エッチングで除去した後、前記開口部の内部と前記電流ブロック層上にp-GaNクラッド層8を成長する。以上のGa<sub>0.5</sub>N系多層構造の成長は全て1000℃以下のMOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)法を用いて行うことができる。

【0073】従来のGa<sub>0.5</sub>N系LDでは通常AlGa<sub>0.5</sub>Nク



ラッド層を用いるが、良好な AlGaIn を成長するのに 1000℃以上の高温成長を行う必要があった。1000℃以上の高温成長では、p型ドーパントの Mg が拡散しやすく、InGaIn の MQW 活性層 16 の中に Mg が侵入したり、MQW の構成に必要な In 組成のステップ状の周期的な組成分布が In の相互拡散によりなだらかにされて、MQW 活性層の優れた特性が発揮されなくなる等の問題を生じていた。

【0074】図 6 に示す第 5 の実施の形態の GaN 系 LD においても、薄膜障壁層として AlGaIn を成長しなければならぬが、薄膜障壁層の所要厚さは 50 nm に過ぎないので、1000℃以下においても十分な性能を発揮する AlGaIn 薄膜障壁層を成長することができる。

【0075】また電流ブロック層として AlGaIn を用いる場合には、AlGaIn 層中に電流を流す必要がないので、1000℃以下の低温成長により結晶の品質が多少低下しても、十分に目的を達することができる。図 7 の第 6 の実施の形態に係る GaN 系 LD の構造は、第 5 の実施の形態と同様な材料で構成されるため、工程の手順に多少の相違はあるが、同様に全ての構成を 1000℃以下の低温で形成することができる特徴がある。

【0076】また、従来の GaN 系 LD 構造のように、AlGaIn クラッド層が存在すると、製造工程中に Al の酸化を生じ易いので、結晶の品質が低下する恐れがあるが、本発明の GaN 系 LD 構造では製造工程中に Al が露出することがないので、信頼性の高い素子を形成することができる。

【0077】次に図 8 に基づき本発明の第 7 の実施の形態について説明する。図 8 には本発明に直接関連する構造部分のみが示されている。図 8 に示すように、GaN 系 LD が n 型クラッド層 20 と、n 型 GaN ガイド層 21 と、InGaIn の MQW 活性層 16 と、p-GaN ガイド層 23 と、p-クラッド層 24 とを含むとき、InGaIn の MQW 活性層 16 と p-GaN ガイド層 23 との間に AlGaIn の MQW 薄膜障壁層、又は AlGaIn/GaN からなる MQW 薄膜障壁層を設けることにより、活性層に注入された電子の p-GaN ガイド層 23 へのオーバーフローを防止することができる。

【0078】薄膜障壁層を MQW 構造とすれば、均一な Al 組成を含む単層の AlGaIn 層を薄膜障壁層とするよりも MQB (Multi-Quantum Barrier) の効果により、同一の平均 Al 組成で、実効的な障壁高さをより高くすることができる。

【0079】また InGaIn の MQW 活性層 16 による歪みの発生が AlGaIn 薄膜障壁層を隣接させることにより緩和される効果がある。従って InGaIn 活性層 16 への均一な電流の注入が可能になる。なお、AlGaIn/GaN からなる MQW 薄膜障壁層を設ける場合にも AlGaIn の薄膜障壁層と同様な効果がみられる。なお

前記 MQW 薄膜障壁層は、GaN 系 LD の動作電圧低減のため Mg または Si 等のドーパントを変調ドーピングすることができる。

【0080】また薄膜障壁層は、InGaIn の MQW 活性層 16 と n-GaN ガイド層 21 との間に設けても良い。また、図 8 において、クラッド層 20、24 をそれぞれ n 型及び p 型 In<sub>u</sub>Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-u-v</sub>N (1 ≥ u, v ≥ 0, 1 ≥ u + v ≥ 0) からなるクラッド層とし、少なくとも p 側及び n 側のいずれかの前記ガイド層と前記クラッド層との間に、前記 MQW 薄膜障壁層を設けるようにしても良い。この他、図 5 及び図 8 に示す多層構造を基本として、これまでに説明した種々の構造の GaN 系 LD を構成することができることはいうまでもない。

【0081】例えば図 3 において、InAlGaIn の MQW 活性層 6 と p-GaN クラッド層 8 との間に AlGaIn の MQW 又は AlGaIn/GaN からなる MQW 薄膜障壁層を設けることができる。また InAlGaIn の MQW 活性層 6 と n-InGaIn の MQW ガイド層 5 との間に AlGaIn 薄膜障壁層を設けることができる。

【0082】なお、本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。例えば、図 4 の第 3 の実施の形態において、ガイド層 5、7 が MQW 構造である場合について説明したが、ガイド層 5、7 は、In 組成が最適化された単層の InGaIn 層とすることもできる。また全ての実施の形態において活性層は InAlGaIn の MQW 又は InGaIn の MQW 構造を有するとして説明したが、InGaAlIn/GaN の MQW 又は InGaIn/GaN の MQW 構造又は単層の InAlGaIn であっても良い。

【0083】また全ての実施の形態において、GaN 系の多層構造は n 型側から成長する場合について説明したが、p 型側から成長することにより、同様な特性と構造の GaN 系 LD を形成することができる。また成長基板はサファイアからなる場合について説明したが、サファイア基板上に厚い GaN 結晶を成長したものや、GaN のバルク結晶を基板として用いることもできる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0084】

【発明の効果】上述したように本発明の半導体レーザ装置によれば、活性層を InAlGaIn、ガイド層を InGaIn、クラッド層を GaN 又は InAlGaIn とすることによって、レーザ発光における光導波路の実効屈折率の値を GaN コンタクト層よりも大きくすることができるので、GaN コンタクト層における光閉じ込め係数が減少し、レーザ発光の FFP における光強度分布を単峰性とすることができる。

【0085】また、比較的高抵抗の AlGaIn クラッド層の代わりに、GaN クラッド層または In 組成が Al 組成より大きい InAlGaIn クラッド層を用い、さら

に AlGaIn 等からなる薄膜障壁層を援用することにより、動作電圧としきい値電流密度を低減し、AlGaIn と他の GaN 系化合物との間の格子定数差によるクラック発生の恐れのない高信頼性の GaN 系 LD を得ることができる。このため光ディスク用として実用性に優れた半導体レーザ装置を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施形態の GaN 系 LD の断面構造を示す図。

【図 2】第 1 の実施の形態の GaN 系 LD における単峰性の FFP を示す図。

【図 3】第 2 の実施の形態の GaN 系 LD の断面構造を示す図。

【図 4】第 3 の実施の形態の GaN 系 LD の断面構造を示す図。

【図 5】薄膜障壁層を備える GaN 系 LD の活性層近傍のバンド構造図。

【図 6】第 5 の実施の形態の GaN 系 LD の断面構造を示す図。

【図 7】第 6 の実施の形態の GaN 系 LD の断面構造を示す図。

【図 8】第 7 の実施の形態の GaN 系 LD の活性層近傍における断面構造を示す図。

【図 9】従来の GaN 系 LD における多峰性の FFP を示す図。

【図 10】従来の GaN 系 LD における多峰性の NFP を示すシミュレーション図。

【図 11】従来の GaN 系 LD における多峰性の NFP を示すシミュレーション図。

【図 12】従来の GaN 系 LD におけるクラッド層の厚さと Al 組成に対するしきい値電流密度の依存性を示す図。

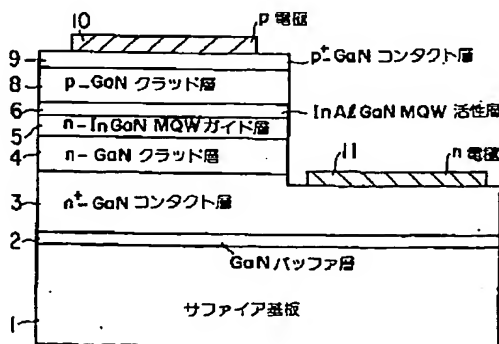
【図 13】従来の GaN 系 LD におけるガイド層・クラ

\* ッド層の厚さに対するしきい値電流密度の依存性を示す図。

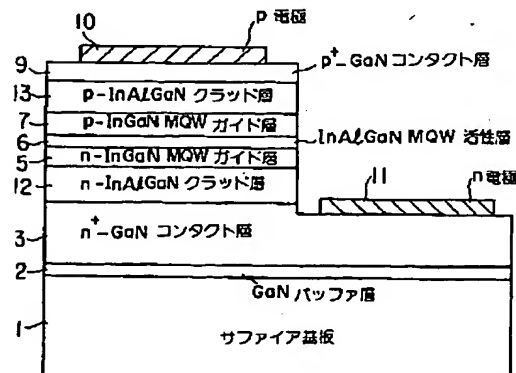
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…GaN バッファ層
- 3… $n^+$ -GaN コンタクト層
- 4… $n$ -GaN クラッド層
- 5… $n$ -InGaIn の MQW ガイド層
- 6…InAlGaIn の MQW 活性層
- 7… $p$ -InGaIn の MQW ガイド層
- 8… $p$ -GaN クラッド層
- 9… $p^+$ -GaN コンタクト層
- 10… $p$  電極
- 11… $n$  電極
- 12… $n$ -InAlGaIn クラッド層
- 13… $p$ -InAlGaIn クラッド層
- 14… $n$ -InGaIn ガイド層
- 15、17…AlGaIn 薄膜障壁層
- 16…InGaIn の MQW 活性層
- 18… $p$ -InGaIn ガイド層
- 19… $n$ -GaN 電流ブロック層
- 20… $n$ -クラッド層
- 21… $n$ -GaN ガイド層
- 22…AlGaIn の MQW 又は AlGaIn/GaIn の MQW からなる薄膜障壁層
- 23… $p$ -GaN ガイド層
- 24… $p$ -クラッド層
- $n_{eff}$ …実効屈折率
- $n_1$ …活性層の屈折率
- $n_2$ …ガイド層の屈折率
- $n_3$ …クラッド層の屈折率
- $n_4$ …コンタクト層の屈折率

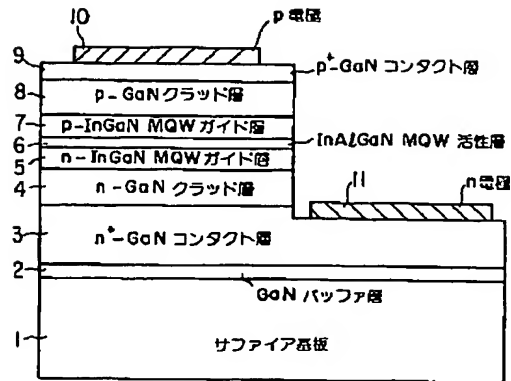
【図 3】



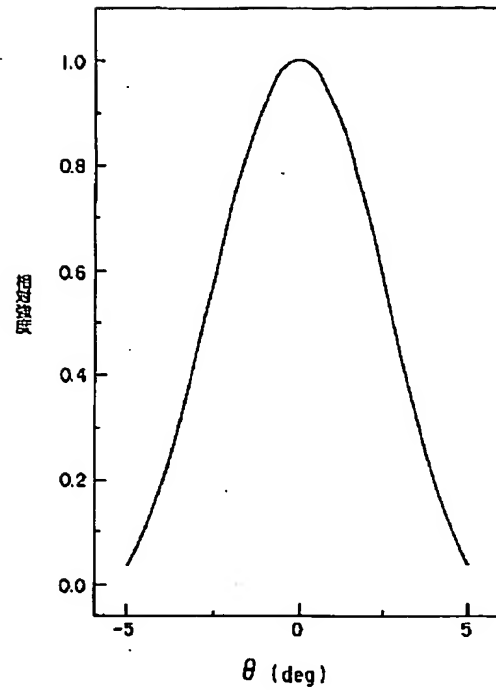
【図 4】



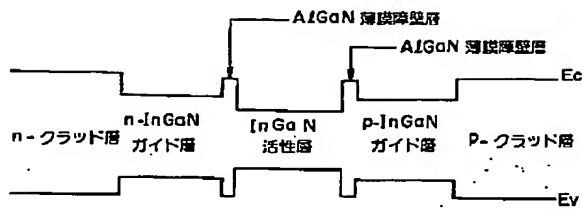
【図1】



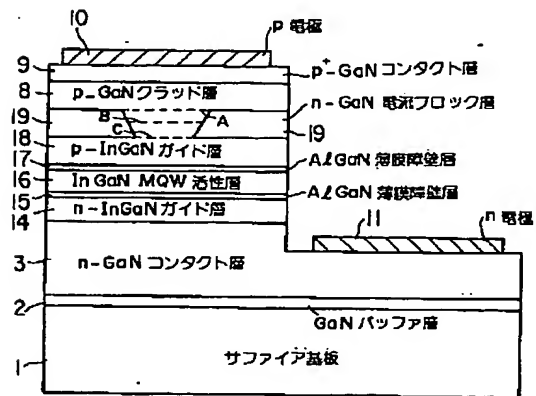
【図2】



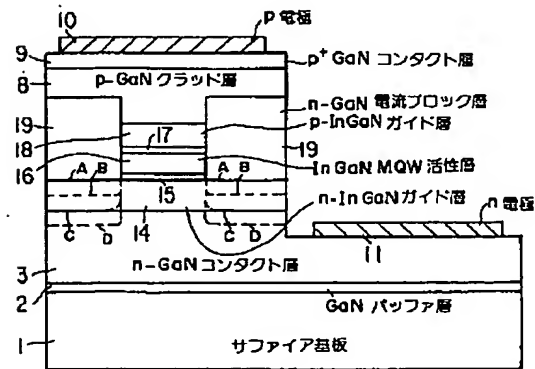
【図5】



【図6】

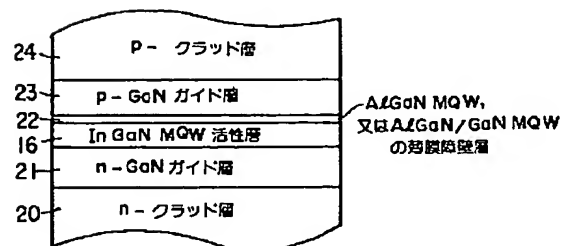


【図7】

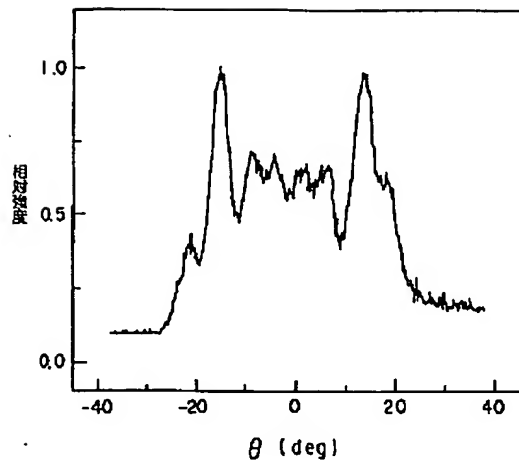


15, 17: AlGaIn 薄膜障壁層

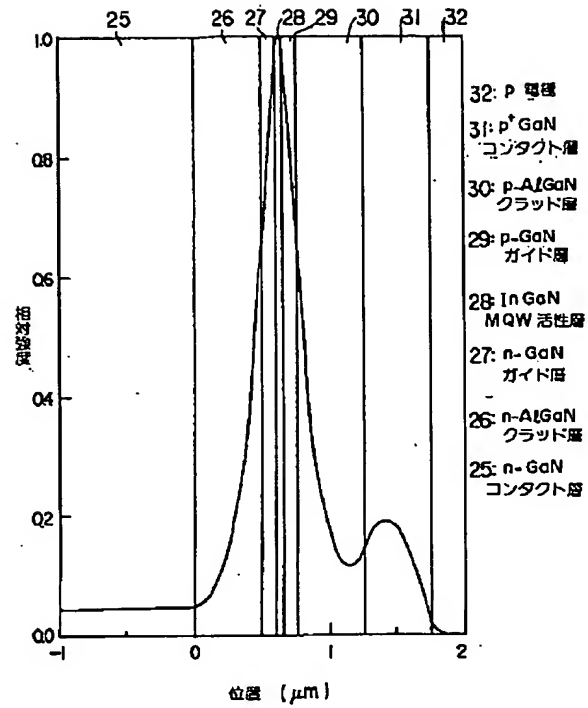
【図8】



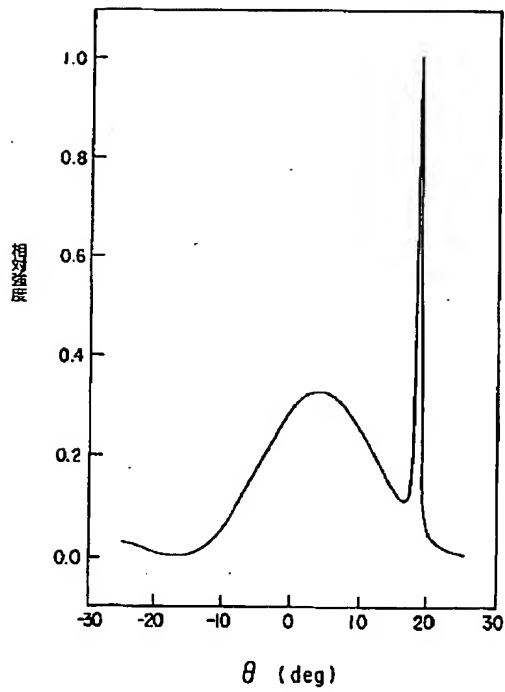
【図9】



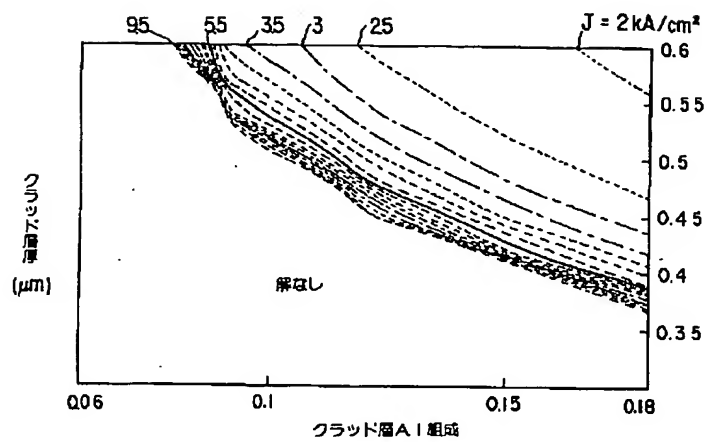
【図10】



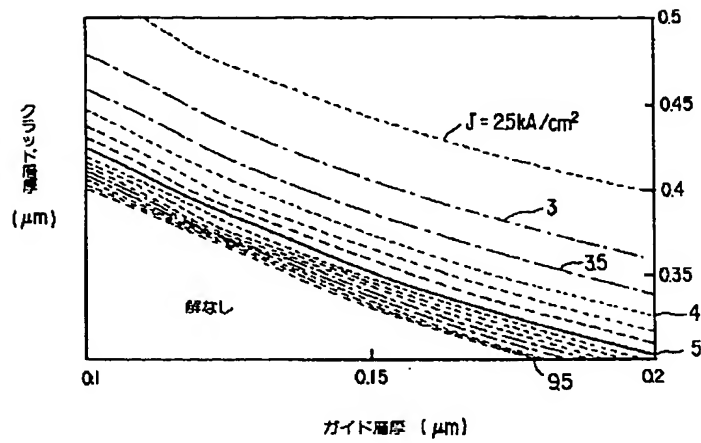
【図11】



【図12】



【図 1 3】



フロントページの続き

(72)発明者 西尾 譲司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 小野村 正明  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株  
式会社東芝研究開発センター内